УДК 550.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

PROSPECTS OF GEOTHERMAL RESOURCES DEVELOPMENT FOR EAST CISCAUCASIA

А.Б. Алхасов, Д.А. Алхасова
A.B. Alkhasov, D.A. Alkhasova

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН,
ул. имама Шамиля, 39а, Махачкала, Республика Дагестан 367030 Россия
Institute of Geothermal Problems of the Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
Imam Shamil Str., 39a, Makhachkala, Republic of Dagestan 367030 Russia

Резюме. Обоснована возможность эффективного освоения геотермальных ресурсов Северокавказского региона путем строительства бинарных геотермальных электростанций (ГеоЭС) с использованием простаивающих нефтяных и газовых скважин. Подсчитаны мощности и основные характеристики ГеоЭС на перспективных площадях. Показана перспективность геотермально-парогазовых технологий, позволяющих с высокой эффективностью использовать термальные воды низкого энергетического потенциала (80–100 °С) для выработки электроэнергии.

Abstract. Work subject. Aim. The Northern Caucasus is one of the prospective regions for development of geothermal energy. The hydrogeothermal resources of the only East Ciscaucasian Artesian basin are estimated up to 10000 MW of heat and 1000 MW of electric power. For their large-scale development it is necessary to built wells of big diameter and high flow rate involving huge capital investments. Reconstruction of idle wells for production of thermal water will allow to reduce capital investments for building of geothermal power installations. In the East Ciscaucasian Artesian basin there are a lot of promising areas with idle wells which can be converted for production of thermal water. The purpose of work is substantiation possibility of efficient development of geothermal resources of the Northern Caucasus region using idle oil and gas wells.

Methods. The schematic diagram is submitted for binary geothermal power plant (GPP) with use of idle gas-oil wells where the primary heat carrier in a loop of geothermal circulation system is used for heating and evaporation of the low-boiling working agent circulating in a secondary contour of steam-power unit. Calculations are carried out for selection of the optimum parameters of geothermal circulation system for obtaining the maximum useful power of GPP. The thermodynamic analysis of low-boiling working agents is made. Development of medial enthalpy thermal waters in the combined geothermal-steam-gas power installations is offered where exhaust gases of gas-turbine installation are used for evaporation and overheat of the working agent circulating in a contour of GPP. Heating of the working agent in GPP up to the temperature of evaporation is carried out by thermal water.

Results. The possibility of efficient development of geothermal resources of the Northern Caucasus region by construction of binary geothermal power plants using idle oil and gas wells is substantiated. The capacities and the basic characteristics of GPP in the promising fields are considered. Prospectivity of geothermal and steam-gas technologies is showed which allow using the low enthalpy thermal waters (80–100 °С) for electrical energy generation.

Conclusions. 1. One of the ways of efficient involvement of geothermal resources in a power balance of the region is construction of the binary GPP using a fund of idle oil and gas wells. The capital expenditure for their reconstruction for production of thermal water is much lower than costs of construction of new wells. At the same time use of idle wells doesn't allow to receive big capacities on GPP because of restriction of a circulating flow rate because of small diameters of wells. Construction of binary GPP on existing wells will enhance energy security and reliability of power supply of socially important objects, will improve an ecological situation by replacement of organic fuel and will increase a share of renewable energy in a regional power balance.

2. Building of geothermal and steam-gas units will allow using the middle enthalpy thermal water for electric power generation, achieving the deeper temperature drop of thermal water that is important for improvement of the economic parameters of geothermal production and most effectively utilizing the heat of the gas-turbine exhaust gas.

Ключевые слова: геотермальная электростанция, скважина, геотермальные ресурсы, комбинированные технологии

Key words: geothermal power plant, well, geothermal resources, combined technologies.

Истощение запасов традиционных видов топлива и экологические последствия их использования обусловили значительный спрос на технологии освоения возобновляемых источников энергии (ВИЭ), где во многих странах достигнуты значительные успехи (Vertani, 2010; Rybach, 2010; Фортон, Попель, 2011; Алхасов, 2012; Томаров и др., 2012). Энергосберегающие технологии на основе геотермальной энергии являются важной составляющей в освоении возобновляющих энергетических ресурсов.

Прямое использование геотермальных ресурсов для теплоснабжения в большинстве случаев связано с сезонной эксплуатацией скважин, добывающих термальную воду, что приводит к снижению теплоотбора на месторождениях и ухудшению экономических показателей геотермального производства. При освоении геотермальной энергии необходимо стремиться к максимально эффективной разработке термоводозаборов, чего можно достичь при постоянной эксплуатации скважин на дебитах, соответствующих эксплуатационным запасам, и сбрасывании температуры отработанной воды до максимально возможного низкого значения.

Наиболее перспективным использованием геотермальной энергии является преобразование ее в электрическую энергию, где достигается круглогодичная эксплуатация геотермальных скважин. Относительная независимость от потребителей, экономичность умеренных мощностей и особая ценность электрической энергии обусловили приоритетное развитие ГеоЭС как генерального направления в освоении геотермальных ресурсов. Во многих странах достигнуты значительные успехи в этой области.

Развитие геотермальной электроэнергетики мира характеризуется следующими данными. За 70 лет (с 1940 по 2010 год) установленная мощность геотермальных электростанций увеличилась в 82 раза. К началу 2011 года ГеоЭС работали в 24 странах мира, суммарная их мощность выросла до 10900 МВт. Геотермальная электроэнергетика по установленной мощности является значительной частью возобновляемой энергетики, развивается умеренными темпами 3–5 % в год и является одной из самых экономически эффективных технологий (Алхасов, 2008).

Существующие ГеоЭС в основном используют высокотемпературный природный пар, добываемый на месторождениях в районах современного вулканизма. Ресурсы парогидротерм ограничены и в ближайшем будущем будут полностью освоены.

В России на Мутновском геотермальном месторождении успешно эксплуатируются 5 энергоблоков на природном паре общей мощностью 83 МВт, и имеются перспективы для дальнейшего наращивания мощности.

Экономический потенциал ВИЭ России составляет 320 млн т у.т./год, из которых на геотермальную энергию приходится 115 млн т у.т./год (Справочник..., 2007). Значительная часть этого потенциала сосредоточена в пластовых водонапорных системах осадочных бассейнов. Температура термальных вод в таких резервуарах варьирует от 30 до 200 °С в зависимости от глубины погружения водоносных горизонтов.

Гидрогеотермальные ресурсы с температурой 100 °С и выше пригодны для производства электроэнергии. Характерными особенностями таких ресурсов являются высокая минерализация, повышенное газосодержание, склонность к солеотложению при изменении термобарических условий и высокая коррозионная активность по отношению к конструкционным материалам. Электроэнергия с использованием таких ресурсов, вырабатывается в бинарных ГеоЭС.

Северо-Кавказский регион является одним из перспективных для освоения геотермальной энергии. Гидрогеотермальные ресурсы только одного Восточно-Предкавказского артезианского бассейна (ВПАБ) оцениваются до 10000 МВт тепловой и 1000 МВт электрической мощности. Для их масштабного освоения необходимо строить высокодебитные скважины большого диаметра с привлечением огромных капиталовложений, что нереально на современном этапе экономического развития региона (Алхасов, Каймазов, 2012).

В ближайшей перспективе наиболее оптимальным является освоение части этих ресурсов с использованием существующих простаивающих скважин на выработанных газонефтяных месторождениях. Только в Северном Дагестане имеется более 1000 простаивающих скважин, пробуренных на глубины от 2000 до 5000 м. Большинство из этих скважин может быть успешно использовано для добычи термальной воды в системах по выработке электроэнергии в бинарных ГеоЭС.

Затраты на строительство геотермальных скважин составляют значительную часть расходов на геотермальную энергетическую систему, капиталовложения в геотермальную циркуляционную систему (ГЦС) из двух скважин могут достигать до 90 % от общих

затрат. Реконструкция простаивающих скважин для добычи термальной воды позволит значительно сократить капиталовложения на строительство геотермальных энергоустановок.

На рисунке 1 представлена схема бинарной ГеоЭС с использованием простаивающих газонефтяных скважин, где первичный теплоноситель в контуре ГЦС используется для нагрева и испарения низкокипящего рабочего агента, циркулирующего во вторичном контуре паросиловой установки (ПСУ). В ПСУ реализуется цикл Ренкина.

ГЦС позволяет интенсифицировать процесс добычи, повысить степень извлечения из недр тепловых ресурсов, а также решить проблему экологически безопасного сброса отработанного теплоносителя. Циркуляция теплоносителя происходит по контуру «добычная скважина – блок теплообменников – насос – нагнетательная скважина – пласт – добычная скважина». Во вторичном контуре в блоке теплообменников происходит нагрев, испарение и перегрев низкокипящего рабочего агента, поступающего на турбину. После турбины отработанный агент поступает в конденсатор и оттуда насосом направляется в блок теплообменников.

Рис. 1. Схема бинарной ГеоЭС. 1, 2 – добычная и нагнетательная скважины; 3 – блок теплообменников для нагрева, испарения и перегрева низкокипящего рабочего агента; 4 – турбина; 5 – генератор; 6 – конденсатор; 7 – циркуляционный насос второго контура; 8 – нагнетательный насос контура ГЦС; 9 – эксплуатируемый термоводонесный горизонт

Выбор рабочего агента является определяющим в эффективном преобразовании геотермального тепла в электроэнергию в бинарных ГеоЭС. Выполнен термодинамический анализ различных рабочих агентов, в таблице 1 приведены значения удельной мощности энергоустановки, массового расхода и давления испарения для наиболее перспективных агентов – изобутана и дифторхлорэтана (R142в) (Алхасов, 2008, 2010). Каждый из этих агентов имеет свои преимущества и недостатки. Как видно из табличных данных, при низких температурах термальной воды удельная мощность, вырабатываемая с R142в, выше, а при более высоких температурах более предпочтителен изобутан. Дальнейшее

сравнение этих агентов с учетом дополнительных факторов говорит в пользу изобутана. Рабочий агент R142в является галогенизированным производным этана и при взаимодействии с водой образует галогенные кислоты, которые в конечном итоге приводят к коррозии конструкционных материалов. Кроме того, теплофизические свойства изобутана лучше, чем у R142в (вязкость изобутана в 1,5 раза ниже, а теплопроводность в 1,2 раза выше). Необходимо отметить, что изобутан совместим с маслами и не вызывает коррозии оборудования энергоустановки. Из анализа существующего опыта также следует, что в бинарных ГеоЭС наибольшее распространение получил изобутан. Выбор изобутана, кроме перечисленных выше преимуществ, обусловлен его относительно невысокой стоимостью и экологической безвредностью (потенциал разрушения озонового слоя $ODP = 0$, а потенциал глобального потепления $GWP = 3$).

Таблица 1

Оптимальные значения удельной мощности N_s (кВт·с/кг) энергоустановки, массового расхода m (кг/с) и давления испарения $P_{и}$ (МПа) низкокипящего рабочего агента в зависимости от температуры T_t термальной воды

$T_t, ^\circ\text{C}$	Изобутан			R142в		
	N_s , кВт·с/кг	m , кг/с	$P_{и}$, МПа	N_s , кВт	m , кг/с	$P_{и}$, МПа
100	10,4	0,4	0,9	11,0	0,66	0,93
110	14,8	0,49	1,0	15,2	0,81	1,025
120	19,6	0,54	1,2	20,1	0,88	1,26
130	25,5	0,65	1,4	25,9	1,13	1,26
140	32,2	0,72	1,6	32,7	1,2	1,57
150	40,1	0,78	2,0	40,4	1,4	1,705
160	50,4	0,9	2,4	49,1	1,5	2,13
170	65,8	1,07	3,2	59,5	1,68	2,58
180	76,6	1,25	3,4	71,9	1,98	3,105

Главной целью при создании бинарной ГеоЭС является получение максимальной полезной мощности при оптимальных экономических показателях, которая достигается оптимизацией конструктивных и режимных параметров первичного (ГЦС) и вторичного (ПСУ) контуров (Алхасов, 2008).

Как правило, нефтяные и газовые скважины имеют малые диаметры эксплуатационных колонн (0,104–0,124 м), использование таких скважин для добычи термальной воды резко снижает оптимальный дебит, циркулирующий в контуре ГЦС, и, соответственно, полезную мощность бинарной ГеоЭС.

В ВПАБ имеется ряд перспективных площадей с простаивающими скважинами, которые можно перевести на добычу термальной воды (Алиев и др., 2010). Для этих площадей проведены оценочные расчеты по строительству бинарных ГеоЭС. Методика и расчетные зависимости по определению оптимальных характеристик бинарной ГеоЭС в данной работе не приводятся, они подробно рассмотрены в предыдущих работах (Алхасов, 2008, 2010; Алхасов, Алхасова, 2011).

В оптимизационных оценочных расчетах приняты следующие данные: внутренний диаметр эксплуатационной колонны скважины и наземных труб – 0,122 м; мощность эксплуатируемого пласта – 50 м; пористость пласта – 15 %, проницаемость пласта – $1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$. Расчеты проведены для ГЦС, состоящей из одной добычной и одной нагнетательной скважины (табл. 2). Существует оптимальный дебит ГЦС, соответствующий максимальной полезной мощности ГеоЭС. Дальнейшее увеличение дебита первичного теплоносителя в контуре ГЦС приводит к увеличению общей мощности энергетической системы при одновременном снижении полезной мощности, так как резко возрастают затраты

энергии на циркуляцию теплоносителя. В зависимости от температуры термальной воды полезная мощность ГеоЭС с ГПС из двух скважин составляет 365–2000 кВт. Использование всего фонда простаивающих скважин позволит получить общую полезную мощность ГеоЭС до 300 МВт.

Таблица 2

**Основные параметры ГеоЭС с использованием скважин на выработанных
нефтяных и газовых месторождениях**

Наименование месторождения	Глубина залегания эксплуатационного горизонта, м	Температура воды на устье скважины, °С	Удельная мощность энергоустановки, кВт/с/кг	Оптимальный дебит ГПС из двух скважин, кг/с	Расстояние между скважинами в ГПС, м	Общая мощность ГеоЭС с ГПС из двух скважин, кВт	Полезная мощность ГеоЭС с ГПС из двух скважин, кВт	Количество скважин на месторождении (число ГПС)	Общая полезная мощность ГеоЭС, кВт
Русский Хутор	3400	130	25,5	29	932	740	528	10 (5)	2640
Южносухокумск + Мартовское	3500	135	29,2	31	965	905	638	10 (5)	3190
Сухокумское + В. Сухокумское	3600	140	32,2	32	981	1030	730	10 (5)	3650
Равнинное + Перекрестное	4300	150	40,1	33	999	1323	950	10 (5)	4750
Дахадаевское + Солончаковое	4400	160	50,4	37	1060	1865	1310	32 (16)	20960
Юбилейное + Кумухское	4400	160	50,4	37	1060	1865	1310	32 (16)	20960
Степное + Восточно-Степное	3600	150	40,1	35	1029	1404	1004	80 (40)	40160
Озерное + Бешкольское	4500	165	58,1	39	1090	2266	1594	80 (40)	63760
Кочубейское + Тарумовское	5500	175	71,2	39	1093	2777	1998	80 (40)	79920
Северо-Кочубей + Душетское	5000	170	65,8	39	1091	2566	1840	40 (20)	36800
Майское + Капиевское	3600	140	32,2	32	981	1030	730	40 (20)	14600
Махачкала-Таркинское	3500	140	32,2	32	981	1030	736	8 (4)	2944
Ачису	3200	120	19,6	26	881	510	365	8 (4)	1460
Бабаюрт	3500	140	32,2	32	981	1030	736	10 (5)	3680
ИТОГО:									299474

Сравним энергетические характеристики при существующих скважинах и при скважинах с оптимальными диаметрами для одной из площадей. На площади Кумухская при диаметрах нефтяных скважин 0,122 м максимальная полезная мощность составляет 1310 кВт при циркуляционном дебите 37 кг/с и расстоянии между скважинами 1060 м (табл. 2). Из условия минимума удельных капитальных затрат оптимальными для данной площади являются скважины диаметром 0,298 м при дебите ГЦС 260 кг/с, полезной мощности ГеоЭС 8850 кВт и расстоянии между скважинами 2810 м. Увеличение диаметров скважин до оптимального значения приводит к многократному увеличению циркуляционного дебита и полезной мощности. Из полученных данных следует, что для получения больших мощностей и улучшения экономических показателей ГеоЭС необходимо создание ГЦС с высокопроизводительными скважинами увеличенного диаметра.

В пределах ВПАБ имеются значительные ресурсы среднепотенциальных термальных вод (80–100 °С), которые используются крайне неэффективно. На геотермальных месторождениях скважины, добывающие такие воды, эксплуатируются только в холодное время года для отопления различных объектов.

В таблице 3 приведены технологические параметры ГеоЭС, рассчитанные для гидрогеолого-геотермических условий Тернаирского геотермального месторождения, расположенного на окраине Махачкалы, из которых следует вывод о неэффективности использования среднепотенциальных термальных вод для выработки электроэнергии в ГеоЭС с обратной закачкой. С увеличением расхода в ГЦС мощность нагнетательной насосной станции растет быстрее мощности ГеоЭС, и с определенного небольшого расхода начинает превосходить мощность ГеоЭС. Из табличных данных видно, что в зависимости от начальной температуры термальной воды максимальная полезная мощность бинарной ГеоЭС с контуром ГЦС составляет всего 39–163 кВт.

Таблица 3

Технологические параметры ГеоЭС

Дебит ГЦС, кг/с	Расстояние между скважинами, м	Давление нагнетания, МПа	Общая мощность ГеоЭС, кВт	Мощность нагнетательного насоса, кВт	Полезная мощность ГеоЭС, кВт
Температура термальной воды $T_t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$					
4	343	Режим СЦС	16,4	0	16,4
5	384	0,063	20,5	3,2	17,3
10	542	0,6	40,9	6,2	34,7
14	641	1,25	57,3	17,9	39,4
20	767	2,59	81,8	53,0	28,8
24	840	3,73	98,2	91,7	6,5
25	857	4,05	102,3	103,6	0
Температура термальной воды $T_t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$					
7	455	Режим СЦС	72,6	0	72,6
8	487	0,087	83,0	0,7	82,3
23	826	3,18	238,5	75,5	163,0
35	1018	7,77	363,0	280,2	82,8
39	1075	9,73	404,4	391,4	13,0
40	1089	10,3	414,8	423,2	0

При малых расходах ГЦС работает в режиме самоциркуляционной системы (СЦС). Естественная циркуляция воды происходит вследствие разности средней плотности воды в стволе нагнетательной и добычной скважин. В добычной скважине проявляется эффект термолифта, в нагнетательной скважине – термопресса (Алишаев и др., 1984).

В основе возникновения этих эффектов лежит термоупругое расширение жидкости и изменение ее плотности в зависимости от изменения средней температуры в стволе добычной и нагнетательной скважин по сравнению со средней температурой в простаивающей скважине. Показатели самоциркуляции возрастают с увеличением проницаемости эксплуатируемого пласта и ростом глубины его залегания.

Для увеличения полезной мощности ГеоЭС необходимо снижать затраты энергии на закачку отработанного теплоносителя обратно в пласт. Этого можно достичь увеличением диаметров скважин в ГЦС и улучшением фильтрационных характеристик в призабойных зонах скважин.

Параметры ГеоЭС, соответствующие максимальной полезной мощности при различных диаметрах скважин ГЦС, приведены в таблице 4. Рост диаметров скважин с 0,122 до 0,251 м приводит к увеличению полезной мощности более чем в 3 раза. Необходимо отметить, что с увеличением диаметров скважин увеличиваются и капитальные затраты на бурение, которые и так являются наиболее весомыми в общих затратах. В этих условиях, в зависимости от горно-проходческих условий места строительства скважин, возникает оптимизационная задача по определению оптимальных диаметров скважин, соответствующих минимуму затрат на единицу полезной мощности.

Таблица 4

Оптимальные параметры ГеоЭС

№ п/п	Параметр	Диаметры скважин ГЦС, м				
		0,122	0,129	0,150	0,198	0,251
1	Дебит ГЦС, кг/с	$\frac{14}{23}$	$\frac{16}{26}$	$\frac{23}{36}$	$\frac{37}{63}$	$\frac{51}{95}$
2	Расстояние между скважинами, м	$\frac{641}{826}$	$\frac{686}{878}$	$\frac{823}{1033}$	$\frac{1043}{1366}$	$\frac{1225}{1678}$
3	Давление нагнетания, МПа	$\frac{1,25}{3,18}$	$\frac{1,3}{3,2}$	$\frac{1,49}{3,27}$	$\frac{1,52}{3,51}$	$\frac{1,6}{3,8}$
4	Общая мощность энергоустановки, кВт	$\frac{57,3}{238,5}$	$\frac{65,4}{269,7}$	$\frac{94,1}{373,4}$	$\frac{151,4}{653,1}$	$\frac{208,5}{985,2}$
5	Мощность нагнетательной станции, кВт	$\frac{17,9}{75,5}$	$\frac{21,3}{85,7}$	$\frac{35,1}{121,4}$	$\frac{57,6}{228,1}$	$\frac{83,5}{372,2}$
6	Максимальная полезная мощность энергоустановки, кВт	$\frac{39,4}{163}$	$\frac{44,1}{184}$	$\frac{59}{252}$	$\frac{93,8}{425}$	$\frac{125}{613}$

Примечание. В числителе значения при температуре термальной воды $T_T = 80^\circ\text{C}$, в знаменателе – при температуре термальной воды $T_T = 100^\circ\text{C}$.

Эффективное освоение среднепотенциальных вод осуществимо в комбинированных геотермально-парогазовых энергоустановках (ГПЭ), имеющих преимущества и возобновляемых источников, и ископаемых видов топлива (Алхасова, Алхасов, 2010). В ГПЭ (рис. 2) выхлопные газы газотурбинной установки (ГТУ) используются для испарения и перегрева рабочего агента, циркулирующего в контуре ГеоЭС. Нагрев рабочего агента в ГеоЭС до температуры испарения осуществляется за счет термальной воды.

Рис. 2. Геотермально-парогазовая энергетическая установка.
1 – добычная скважина; 2 – нагнетательная скважина

В таблице 5 приведены параметры комбинированной ГПЭ и бинарной ГеоЭС, из которых следует вывод о преимуществе ГПЭ.

Таблица 5

Параметры энергоустановок

Наименование параметра	ГПЭ	ГеоЭС
Мощность блока ГТУ-4П, МВт	4,3(э) 8,3(т)	–
Мощность блока на низкипящем рабочем агенте, МВт	1,5	1,5
Расход термальной воды в контуре ГЦС, кг/с	21	144
Удельный расход рабочего агента (изобутан), кг/с	1,6	0,4
Расход рабочего агента (изобутан), кг/с	33,6	57,6
Температура термальной воды, °С	100	100
Температура отработанной воды, °С	40	64
Температура испарения рабочего агента, °С	89	62
Давление испарения рабочего агента, МПа	1,6	0,9
Мощность нагнетательной станции, МВт	0,065	20,84
Расстояние между скважинами, м	790	2065

Термальная вода с температурой 100 °С в технологической схеме ГПЭ позволяет нагреть 1,6 кг изобутана до температуры испарения $T_H = 89$ °С, соответствующей давлению $P_H = 1,6$ МПа. При этом температура отработанной воды $T_n = 40$ °С. Расход термальной воды в контуре ГЦС, при мощности ПСУ в 1,5 МВт, составляет 21 кг/с.

Использование термальной воды с такой же температурой для нагрева и испарения в технологической схеме бинарной ГеоЭС позволит испарить 0,4 кг изобутана при оптимальной температуре испарения $T_H = 62$ °С ($P_H = 1,6$ МПа) и температуре отработанной воды $T_n = 64$ °С. Массовый расход термальной воды для ГеоЭС мощностью 1,5 МВт составляет 144 кг/с. Для достижения такого расхода необходимо увеличивать количество

скважин, что удорожит строительство собственно ГеоЭС. Снижение температуры отработанной термальной воды в комбинированной энергоустановке мощностью 1,5 МВт до 40 °С приводит к дополнительной экономии 2870 т у.т./год.

Перспективным месторождением для строительства комбинированной ГПЭ является Тернаирское месторождение (Махачкала), где имеются готовые к эксплуатации геотермальные скважины, которые в настоящее время простаивают по различным причинам. Оценочные расчеты показывают, что использование среднетемпературных ресурсов месторождения позволит построить комбинированную ГПЭ мощностью до 50 МВт, что решит значительные энергетические, экономические и социально-экологические проблемы Махачкалы.

ВЫВОДЫ

1. Одним из путей эффективного вовлечения геотермальных ресурсов в энергетический баланс региона является строительство бинарных ГеоЭС с использованием фонда простаивающих нефтяных и газовых скважин. Капитальные затраты на их реконструкцию для добычи термальной воды значительно ниже затрат на строительство новых скважин. В то же время использование простаивающих скважин не позволяет получать большие мощности на ГеоЭС из-за ограничения циркуляционного дебита за счет малых диаметров скважин. Строительство бинарных ГеоЭС на существующих скважинах повысит энергетическую безопасность и надежность энергоснабжения социально важных объектов, улучшит экологическую обстановку за счет вытеснения органических видов топлива, увеличит долю ВИЭ в энергобалансе региона.

2. Строительство геотермально-парогазовых установок позволит использовать среднетемпературные термальные воды для выработки электроэнергии, добиться более глубокого срабатывания температуры термальной воды, что важно для улучшения экономических показателей геотермального производства, и наиболее эффективно утилизировать тепло выхлопных газов ГТУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты: № 12-08-96501-р_юг_а; № 13-08-00254-а).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Алиев Р.М., Васильев В.А., Ибрагимов М.И., Бадавов Г.Б. 2010. Перспективы крупномасштабного использования геотермальной энергии в республике Дагестан. *Известия РАН. Энергетика*. 5: 125–131.
- Алишаев М.Г., Гайдаров Г.М., Каспаров С.А., Курбанов М.К., Рамазанов Ю.М. 1984. Самоциркуляционная геотехнологическая система. В кн.: Материалы Всесоюзной конференции «Народнохозяйственные и методические проблемы геотермии» (Махачкала, 1984). Махачкала: 21–25.
- Алхасов А.Б., Каймаразов А.Г. 2012. Современное состояние и перспективы освоения низкотемпературных геотермальных ресурсов Восточного Предкавказья. *Юг России: экология, развитие*. 4: 7–18.
- Алхасов А.Б. 2008. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит. 376 с.
- Алхасов А.Б. 2010. Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии. *Известия РАН. Энергетика*. 1: 59–72.
- Алхасов А.Б. 2012. Возобновляемая энергетика. М.: Физматлит. 256 с.
- Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. 2011. Электроэнергетическое освоение геотермальных ресурсов Северокавказского региона. *Теплоэнергетика*. 2: 59–66.
- Алхасова Д.А., Алхасов А.Б. 2010. Использование среднетемпературных геотермальных ресурсов для выработки электроэнергии. В кн.: Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы: материалы II международной конференции (Махачкала, 27–30 сентября 2010 г.). Махачкала: ИП Овчинников (АЛЕФ): 233–238.
- Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). 2007. М.: ИАЦ Энергия. 272 с.
- Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н., Шипков А.А., Паршин Б.Е. 2012. Тенденции и перспективы развития геотермальной энергетики. *Теплоэнергетика*. 11: 26–35.
- Фортов В.Е., Попель О.С. 2011. Энергетика в современном мире. Долгопрудный: ИД «Интеллект». 168 с.

- Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report. *In: Proceedings World Geothermal Congress 2010 (Bali, Indonesia, 25–29 April 2010)*. 41 p.
- Rybach L. Status and Prospects of Geothermal Energy. *In: Proceedings World Geothermal Congress 2010 (Bali, Indonesia, 25–29 April 2010)*. 5 p.

REFERENCES

- Alishaev M.G., Gaydarov G.M., Kasparov S.A., Kurbanov M.K., Ramazanov Y.M. Circulation geotechnology system. *In: Materialy Vsesoyuznoy konferentsii «Narodnokhozyaystvennye i metodicheskie problemy geotermii» [Economical and methodological problems of geothermy: Proceedings of All-Union Conference (Makhachkala, 1984)]*. Makhachkala: 21–25 (in Russian).
- Aliyev R.M., Vasilyev V.A., Israpilov M.I., Badavov G.B. 2010. Prospects of large-scale utilization of geothermal energy in the Republic of Dagestan. *Izvestiya RAN. Energetika*. 5: 125–131 (in Russian).
- Alkhasov A.B., Kaymarazov A.G. 2012. Current state and prospects of development for low potential resources of Eastern Ciscaucasia *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 4: 7–18 (in Russian).
- Alkhasov A.B. 2008. Geotermal'naya energetika: problemy, resursy, tekhnologii [Geothermal energy: problems, resources, technologies]. M.: Fizmatlit. 376 p. (in Russian).
- Alkhasov A.B. 2010. Application of geothermal energy for power generation. *Izvestiya RAN. Energetika*. 1: 59–72 (in Russian).
- Alkhasov A.B. 2012. Vozobnovlyаемая энергетика [Renewable energy]. M.: Fizmatlit. 256 p. (in Russian).
- Alkhasov A.B., Alkhasova D.A. 2011. Electric power development of geothermal resources of the North Caucasian region. *Teploenergetika*. 2: 59–66 (in Russian).
- Alkhasova D.A., Alkhasov B.A. 2010. Using of middle potential geothermal resources for power generation. *In: Vozobnovlyаемая энергетика: problemy i perspektivy: materialy II mezhdunarodnoy konferentsii [Renewable energy: Problems and Prospects: Proc. II International Conference (Makhachkala, 2010)]*. Makhachkala: IP Ovchinnikov (ALEPH): 233–238 (in Russian).
- Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2005–2010 Update Report. *In: Proceedings World Geothermal Congress 2010 (Bali, Indonesia, 25–29 April 2010)*. 41 p.
- Fortov V.S., Popel O.S. 2011. Energetika v sovremennom mire [Energy in the contemporary world]. Dolgoprudnyi: ID “Intellect”. 168 p. (in Russian).
- Rybach L. Status and Prospects of Geothermal Energy. *In: Proceedings World Geothermal Congress 2010 (Bali, Indonesia, 25–29 April 2010)*. 1–5.
- Spravochnik po resursam vozobnovlyaemykh istochnikov energii Rossii i mestnym vidam topliva (pokazateli po territoriyam) [Handbook for resources of renewable energy sources in Russia and local types of fuel (territorial parameters)]. 2007. Moscow: Energiya. 272 p. (in Russian).
- Tomarov G.V., Nikolski A.I., Semyonov V.N., Shipkov A.A., Parshin B.E. 2012. Tendencies and prospects of geothermal energy development. *Teploenergetika*. 11: 26–35 (in Russian).